

РАЗДЕЛ 2. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ**Термоэмиссионные свойства сплавов на основе тугоплавких металлов**

д.т.н., проф. Арзамасов В.Б., к.т.н., доц. Смирнова Э.Е., Полунов И.Л.,
Рыков Д.Е., Строев А.А.
МГТУ «МАМИ»

Основным элементом термоэмиссионных преобразователей энергии (ТЭП) является катод, материал которого должен обладать помимо высокой жаропрочности также и стабильной термоэмиссией. В то же время в литературе практически отсутствуют данные по эмиссионным характеристикам высокожаропрочных сплавов на основе тугоплавких металлов.

Для исследований были выбраны отечественные сплавы, обладающие высокими значениями длительной прочности при температурах выше 1000 °С (табл. 1)

Таблица 1.

Состав и свойства жаропрочных сплавов [1-4].

Марка сплава	Система	Химический состав, % по массе								Температура испытаний, °С	σ_{100} , МПа
		W	Ta	Mo	Nb	Ti	Zr	Hf	C		
ВН4	Nb-Mo-Zr-C	-	-	9,5	осн	-	1,5	-	0,2	1100	260
ВМ3	Mo-Ti-Zr-Nb-C	-	-	осн	1,0	1,3	0,6	-	0,3	1400	160
T222	Ta-W-Hf-C	9,6	осн	-	-	-	-	2,4	0,01	1650	90
ТСВ1	W-Ta-Zr-C	осн	0,2	-	-	-	0,15	-	0,1	1900	28

Сплавы были получены методом вакуумно-дуговой плавки с нерасходуемым электродом. Порошки основного металла, легирующих элементов и углерод (в виде сажи) тщательно перемешивались и прессовались на 30-ти граммовые таблетки, которые расплавлялись на медном водоохлаждаемом поду. После вакуумных отжигов для снятия внутренних напряжений из них изготавливались полированные образцы для исследований диаметром 10 мм и толщиной 2 мм.

Термоэмиссионные свойства сплавов – работу выхода электронов – определяли на вакуумной установке, обеспечивающей безмасляный вакуум не хуже 10^{-3} Па, описание которой приводится в работе [5]. Обезгаживание вакуумной камеры установки проводили в течение 3-х часов при температурах 1800, 2000, 2100 и 2500°С для образцов из сплавов ниобия, молибдена, тантала и вольфрама соответственно и измеряли работу выхода электрона.

Затем температуры снижались до 1100°С (ВН4), 1400°С (ВМ3), 1650°С (Т222) и 1900°С (ТСВ1) со скоростями охлаждения порядка 300 – 400 °/мин и также проводили измерения работы выхода электронов методом полного тока [6].

Погрешность измерений работы выхода электрона составляла порядка 0,1 эВ.

В табл. 2 приведены результаты измерения работы выхода электрона сплавов при различных температурах; там же указаны соответствующие структурные состояния из литературных источников.

Анализ этих данных показал увеличение значений работы выхода от менее тугоплавкого сплава на основе ниобия к более тугоплавкому вольфрамовому. Величина работы выхода электрона сплавов ВН4, ВМ3, Т222 и ТСВ1 при температурах 1800, 2000, 2200 и 2500°С соответственно практически не отличаются (в пределах погрешностей измерения) от их величин для чистых металлов основы, приведенных в справочнике [6], за исключением сплава Т222, т.е. влияние легирующих элементов в указанных концентрациях незначительно.

В табл. 3 представлены обобщенные данные значений работы выхода электрона поликристаллических металлов и их соединений.

Работа выхода электрона и структура сплавов при различных температурах.

Сплав	Температура испытания, °C	Работа выхода электрона, ϕ , эВ (*)	Структура	Литературные источники
ВН4	1800	4,06	$\alpha + \text{Nb}_2\text{C}$ (следы)	[1,5,6]
	1100	3,93	$\alpha + (\text{Zr}, \text{Nb})\text{C}$	
ВМ3	2000	4,12	$\alpha + (\text{Ti}, \text{Zr})\text{C}$ (следы)	[2,4]
	1400	3,94	$\alpha + (\text{Ti}, \text{Zr})\text{C}$	
Т222	2200	4,25	$\alpha + (?)$	-
	1650	4,18	$\alpha + \text{HfC} (?)$	
ТСВ1	2500	4,52	$\alpha + \text{W}_2\text{C}$ (следы)	[3]
	1950	4,39	$\alpha + \text{W}_2\text{C} + \text{ZrC}$	

* - среднее из трех измерений при постоянной температуре с интервалом 20 мин.

Таблица 3.

Рекомендуемые значения работы выхода электрона тугоплавких металлов и их соединений [6].

Металл	ϕ , эВ	Соединение	ϕ , эВ
Nb	3,99	Nb_2C	3,89
		NbC	3,58
Mo	4,3	Mo_2C	3,80
		MoC	3,80
Ta	4,12	Ta_2C	4,0
		TaC	3,7
W	4,54	W_2C	4,05
		WC	3,6
Ti	3,95	TiC	3,85
Hf	3,53	HfC	3,85
Zr	3,9	ZrC	3,80

Более высокие значения работы выхода у сплавов ВН4 и Т222 по сравнению с чистым ниобием и танталом, очевидно, связаны со значительным (порядка 10 % по массе) присутствием в сплавах более тугоплавких молибдена или вольфрама.

Количество вторых фаз – карбидов в сплавах при высоких температурах мало, и они практически не влияют на работу выхода электрона систем.

Уменьшение температур испытаний для сплавов до 1100°C (ВН4), 1400°C (ВМ3), 1650°C (Т222) и 1950°C (ТСВ1) приводит к увеличению количества вторых фаз и уменьшению значений работы выхода электрона. Известно [8], что в смесях каждая фаза характеризуется своей работой выхода, а термоэмиссионный ток складывается из суммы токов, отдаваемых каждой фазой. Таким образом, увеличение количества карбидов, которые имеют мень-

шие значения работы выхода электрона и могли привести к некоторому снижению этой величины.

Необходимо отметить, что ни в одном случае не были отмечены значения работы выхода электрона меньшие, чем у компонентов сплава. В то же время известно, что образование на поверхности катода металлопленочной системы приводит к значительному снижению величины работы выхода электрона за счет прикатодного скачка потенциала [9].

В работе [5] жаропрочный сплав системы $Nb - Mo - Ti - Zr - C$ подвергали кратковременному нагреву в вакууме ($p=10^{-4} - 10^{-3}$ Па, $T = 2000^{\circ}C$, $\tau = 5$ мин) и резко охлаждали до $1100^{\circ}C$, в результате чего на поверхности катода образовалась моноатомная пленка циркония и работа выхода электрона металлопленочного катода становилась равной 3,20-3,24 эВ, что меньше ее значений не только для ниобия, но и для циркония.

Таким образом, проведенные исследования показывают перспективность применения многокомпонентных сплавов на основе тугоплавких металлов взамен катодов ТЭП из чистых металлов или их малолегированных сплавов, не обладающих высокой жаропрочностью.

Литература

1. Мальцев М.В. Металлография тугоплавких, редких и радиоактивных металлов и сплавов. «Металлургия», М., 1971, 489 с. с илл.
2. Моргунова Н.Н., Клыпин Б.А. и др. Сплавы молибдена. «Металлургия», М., 1975, 392 с. с илл.
3. Савицкий Е.М., Поварова К.Б., Макаров П.В. Металловедение вольфрама. «Металлургия», М., 1978, 224 с. с илл.
4. Справочник по конструкционным материалам. «МГТУ им. Н.Э. Баумана», М., 2005, 637 с. с илл.
5. Арзамасов В.Б., Смирнова Э.Е. Принцип жаропрочного легирования и термоэмиссионные свойства сплавов. В сб. «Металловедение, термическая и химикотермическая обработка сплавов». «МГТУ им. Н.Э. Баумана», М., 2003, 226-232.
6. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов «Наукова думка» К., 1981, 486 с. с илл.
7. Арзамасов В.Б., Смирнова Э.Е., Строев А.А., Полунов И.Л. Влияние легирования и структурного состояния на термоэмиссию и жаропрочность ниобия. Известия МГТУ «МАМИ», №2 (4), М., 2007, 136-140.
8. Буров И.В., Литвак Л.Н. Физико-химическое исследование термоэмиссионных свойств металлов и сплавов. В сб. «Физико-химия редких металлов», «Наука», М., 1972, 106-107
9. Физические методы исследования металлов. Справочник «Машиностроение», М., 1971, 552 с. с илл.

Улучшение геометрических параметров качества обрабатываемой поверхности детали в процессе прошивания на основе усовершенствования конструкции режущего инструмента

к.т.н. Бекаев А.А., к.т.н. Щедрин А.В., к.т.н. Скоромнов В.М.
МГТУ «МАМИ»

Введение

Повышение производительности операций металлообработки и качества выпускаемой продукции с одновременным снижением ее себестоимости является одной из важнейших задач производства.

За последние годы в машиностроении были сделаны определенные шаги по обеспечению требуемого качества обрабатываемой поверхности детали. В то же время при повышении требований к получаемому качеству поверхностного слоя вопрос достижения этого качества остается одним из актуальнейших вопросов современного машиностроения.

Как установлено большинством исследователей [1...5 и др.], занимающимися вопросами повышения качества обрабатываемой поверхности в процессе протягивания (прошива-